

WO 2004/021555 A2



(81) États désignés (*national*) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (*régional*) : brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI,

FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR); brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— *sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport*

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

" Moteur électroactif monophasé "

La présente invention concerne un moteur rotatif électroactif et un procédé de fonctionnement de ce moteur.

5 Les moteurs électroactifs utilisent les capacités de certains matériaux, notamment les matériaux piézoélectriques, à se déformer sous l'action d'un champ électrique qui les traverse.

Les moteurs électroactifs permettent des déplacements précis, par exemple pour des commandes pas à pas, et même à l'arrêt conservent un
10 couple massique important. Ils sont donc des solutions intéressantes pour des applications de positionnement, particulièrement dans des domaines tels les objectifs pour appareils optiques, l'automobile (essuie-glace, sièges réglables) ou les commandes dans l'aéronautique.

Les moteurs piézoélectriques utilisent des matériaux piézoélectriques
15 en tant que matériaux électroactifs. Les moteurs piézoélectriques rotatifs les plus récents et les plus performants, sont des moteurs à onde progressive de type annulaire ou cylindrique. On peut se reporter par exemple au brevet EP O 538 791 (Canon) qui décrit un moteur cylindrique de ce type. Pour créer l'onde progressive à une surface du
20 matériau piézoélectrique, on utilise une alimentation électrique diphasée pour générer dans le matériau un champ électrique tournant. Le matériau se déforme sous l'action de ce champ de sorte qu'il forme à la surface une ondulation qui fait se mouvoir, directement ou indirectement un rotor.

25 Cependant, ces moteurs nécessitent une alimentation diphasée qui comprend de nombreux composants électriques, actifs ou passifs.

Le but de l'invention est de proposer un moteur électroactif dont l'alimentation est simplifiée, de façon à pouvoir proposer un ensemble moteur-alimentation performant robuste et bon marché.

30 Selon un premier aspect de l'invention, un tel moteur comprend un stator fixé au bâti du moteur et apte à fléchir perpendiculairement à une

- 2 -

direction principale, ledit stator comprenant, empilées selon ladite direction principale, des éléments électroactifs, par exemple des céramiques piézo-électriques, encadrées par deux contre-masses, caractérisé en ce que ledit stator présente une dissymétrie géométrique de façon à créer une dissymétrie de résonance. Cette dissymétrie est dite géométrique par opposition à une dissymétrie électrique dans une alimentation utilisant deux tensions en quadrature de phase. Elle permet d'obtenir pour le stator deux modes de flexion selon deux directions distinctes, de préférence orthogonales entre elles, perpendiculaires à la direction principale, et dont les fréquences de résonance sont différentes.

Cette dissymétrie géométrique peut être obtenue grâce à un mode de fixation dissymétrique du stator sur le bâti ou encore par une forme dissymétrique du stator, particulièrement une forme dissymétrique pour les contre-masses.

Selon un deuxième aspect de l'invention, un procédé pour alimenter un moteur piézo-électrique à rotation de mode comprenant un stator fixé à un bâti du moteur et apte à fléchir perpendiculairement à une direction principale, ledit stator comprenant, empilées selon ladite direction principale, des céramiques piézo-électriques encadrées par deux contre-masses, ledit stator présentant une dissymétrie géométrique de façon à créer une dissymétrie de résonance, est caractérisé en ce qu'on utilise une alimentation électrique monophasée. On choisira, pour l'alimentation, des fréquences de résonance suffisamment proches pour qu'à la fréquence intermédiaire l'amplitude de la flexion selon chacun des modes de flexion soit adaptée au fonctionnement du moteur. La fréquence intermédiaire sera plus particulièrement choisie afin que le déphasage entre les deux modes de flexion soit de 90° .

Pour un stator comprenant deux céramiques on reliera l'une des deux bornes de l'alimentation monophasée à une interface entre les deux céramiques et l'autre borne sur des faces des céramiques respectivement opposées à l'interface.

- 3 -

D'autres particularités et avantages de l'invention ressortiront encore de la description ci-après, relative à des exemples non limitatifs.

Aux dessins annexés :

- 5 - la figure 1 est une représentation d'un premier mode de réalisation pour un moteur selon l'invention;
- la figure 2 est un schéma d'un premier type d'alimentation monophasée possible pour un moteur selon l'invention, notamment pour le moteur de la figure 1;
- 10 - la figure 3 est une représentation en perspective éclatée des plaquettes et des contre-masses constituant un stator pour le moteur de la figure 1;
- la figure 4 est une représentation en plan des plaquettes et contre-masses du moteur de la figure 1;
- la figure 5 est une illustration de courbes caractéristiques du
15 moteur de la figure 1 en fonction de la fréquence d'alimentation électrique de ce moteur;
- la figure 6 est une représentation en perspective éclatée des plaquettes et des contre-masses constituant un stator pour un deuxième mode de réalisation d'un moteur selon l'invention;
- 20 - la figure 7 est une représentation en plan des plaquettes et contre-masses du moteur de la figure 6; et,
- la figure 8 est un schéma pour un deuxième type d'alimentation monophasée possible pour un moteur selon l'invention, ce deuxième type permettant d'obtenir deux sens de rotation pour le moteur.

25 La figure 1 représente un moteur 1 rotatif piézoélectrique à rotation de mode monophasé, alimenté par une alimentation électrique monophasée 40. On décrit aussi ce moteur en référence aux figures 3 et 4. Ce moteur comprend un stator 10 et un rotor 20 montés sur un arbre 2. L'arbre 2 est fixé rigidement à un bâti 3 du moteur 1. Le stator 10 est
30 monté sur l'arbre 2 de sorte qu'il ne peut tourner autour de l'arbre 2. Le rotor 20 est monté libre en rotation autour de l'arbre 2. Le rotor peut

- 4 -

être prévu pour entraîner un mécanisme non représenté. Le stator 10 et le rotor 20 sont de forme généralement cylindrique.

Au repos, l'arbre 2 est de forme généralement cylindrique et s'étend, autour d'une fibre centrale supportée par un axe X, selon une
5 / direction principale D depuis une fixation 6 de cet arbre sur le bâti. L'axe X qui est un axe de rotation pour le rotor 20. A la figure 1, le moteur 1 est représenté en fonctionnement, c'est à dire que dans sa portion supportant le stator l'arbre 2 est fléchi de sorte que sa fibre centrale est supportée dans cette portion par une ligne courbe L. Par la suite on
10 nommera axial ce qui comprend ou est parallèle à l'axe X, plus généralement à la fibre centrale, et radial ce qui est perpendiculaire à l'axe X, respectivement à la fibre centrale.

Le moteur 1 comprend successivement, montés sur et coaxialement avec l'arbre 2, une butée fixe 31, un ressort hélicoïdal de compression
15 32, monté entre la butée fixe 31 et une butée à billes 33, la butée à bille 33, le rotor 20, le stator 10 et un écrou 34 vissé sur une extrémité libre 36 de l'arbre 2.

L'écrou 34 permet de régler la longueur du ressort 32, donc de régler un effort axial de compression, dit effort presseur, entre le ressort
20 et l'écrou, particulièrement pour comprimer le rotor 20 sur le stator 10. Comme pour des moteurs piézoélectriques déjà connus, cet effort est nécessaire pour l'entraînement du rotor 20 par le stator 10. Cet effort est avantageux puisque lorsque le moteur est au repos, c'est à dire lorsqu'il n'est pas alimenté, le rotor est ainsi maintenu immobile relativement au
25 stator. Par exemple si le moteur est utilisé pour effectuer un réglage d'un mécanisme, ce réglage est maintenu sans qu'il soit utile d'alimenter le moteur.

Le stator 10 lui-même comprend successivement, montés sur et coaxialement avec l'arbre 2, une première contre-masse 11, une première
30 plaquette de céramique piézoélectrique 12, une deuxième plaquette de céramique piézoélectrique 13 et une deuxième contre-masse 14. Les

- 5 -

contre-masses 11,14 et les plaquettes 12,13 sont des cylindres comprenant chacun deux faces opposées, perpendiculaires à la direction D lorsque le moteur est au repos. On appelle face postérieure la première face rencontrée lorsque l'on parcourt l'arbre selon la direction D, et
5 antérieure la deuxième face rencontrée selon le même parcours.

Un ensemble 11-14 constitué par les contre-masses et les plaquettes est apte à se déformer sous l'action de l'alimentation 40, de sorte qu'une onde progressive se forme à la surface postérieure 111 de la première contre-masse 11. Le fonctionnement de l'ensemble 11-14 sera
10 expliqué dans la suite de la présente description. C'est l'onde progressive se formant sur la face postérieure 111 de la première contre-masse 11, qui entraîne le rotor en rotation.

A la figure 1, le rotor est représenté sous une forme cylindrique. Il comprend une face antérieure 22 prévue pour être en contact avec la
15 face postérieure 111 de la première contre-masse 11. Cette face antérieure 22 du rotor 20 est revêtue d'une couche de friction 23 pour assurer l'entraînement sans glissement du rotor 20 par le stator 10. Une face postérieure 21 du rotor 20 sert d'appui à la butée à bille 33. Un palier non représenté, éventuellement équipé d'un roulement à bille,
20 permet le découplage en rotation de l'arbre 2 d'avec le rotor 20.

L'alimentation 40 permet la fourniture d'énergie motrice au moteur. Cette alimentation est monophasée, constituée d'une phase 41 et d'une masse 42. Une première interface 1112 entre la face antérieure 112 de la première contre-masse 11 et la face postérieure 121 de la première
25 plaquette 12 est reliée à la masse 42. Une deuxième interface 1213 entre la face antérieure 122 de la première plaquette 12 et la face postérieure 131 de la deuxième plaquette 13 est reliée à la phase 41. Une troisième interface 1314 entre la face antérieure 132 de la deuxième plaquette 13 et la face postérieure 141 de la deuxième contre-masse 14 est aussi
30 reliée à la masse 42. Une tension variable 43 est appliquée à la phase 41.

- 6 -

La première et la deuxième plaquette piézo-électrique se déforment sous l'action des champs électriques axiaux entre les interfaces, créés par la tension 43 pour générer l'onde progressive.

Une alimentation 40 possible pour le moteur 1 est schématisée à la figure 2. Elle est proche d'une alimentation à découpage de type "Forward" à laquelle on aurait retiré ses diodes au secondaire. Elle est commandée par un interrupteur 46 pour le démarrage et l'arrêt du moteur. Cette alimentation comprend un transformateur 44. Ce transformateur permet d'adapter le niveau de tension à celui du moteur et d'en assurer l'isolement galvanique. Le secondaire 47 du transformateur 44, comprend une inductance 48 permettant d'obtenir la résonance en réglant la fréquence de la tension 43 aux bornes 41,42 du moteur 1 en fonction de la capacitance des plaquettes 12,13.

On va maintenant expliquer le fonctionnement du stator 10 en référence aux figures 3, 4 et 5. On va tout d'abord examiner les formes respectives et les dispositions relatives des plaquettes 12,13 et des contre-masses 11,14.

Les contre-masses et les plaquettes ont sensiblement le même diamètre extérieur et comprennent toutes quatre en leur centre un percement axial 51 pour le passage de l'arbre 2.

Les contre-masses 11,14 sont identiques entre elles. Elles comprennent en outre des singularités constituées de deux évidements, des alésages 52, parallèles au percement axial 51 et diamétralement symétriques entre eux par rapport à l'axe X. Ces alésages forment une dissymétrie géométrique autour de l'axe X. Ces alésages définissent un plan axial P1,P2 pour chacune des plaquettes. Ainsi, pour un premier plan axial P1 coupant diamétralement les deux alésages 52 de la première contre-masse 11, on privilégie la flexion de la première contre-masse selon un mode M1 perpendiculairement au premier plan axial P1. De même, pour un deuxième plan axial P2 orthogonal à un plan coupant diamétralement les deux alésages 52 de la deuxième contre-masse 14, on

- 7 -

privilégie la flexion du stator selon un mode M2 perpendiculairement au deuxième plan axial P2. Les modes de flexion M1,M2 sont caractéristiques de la dissymétrie de résonance.

Les plaquettes piézo-électriques 12,13 sont identiques. Elles sont
5 constituées d'un premier secteur 123,133 et d'un second secteur 124,134 de polarités axiales opposées représentées aux figures 1 et 3 par des flèches notées P+ selon la direction principale D et P- selon la direction opposée. A la figure 4, les éléments sont représentés en vue en plan selon la direction D. Les polarités P+ y sont illustrées par des
10 cercles contenant une croix et les polarités P- par des cercles contenant un point. Pour la première plaquette 12 le premier secteur 123 est séparé du deuxième secteur 124 par un premier plan axial médian PM1. Pour la première plaquette 13 le premier secteur 133 est séparé du deuxième secteur 134 par un deuxième plan axial médian PM2. Il est a noter que
15 l'on entend par polarités axiales opposées des polarités telles que sous l'effet d'une même tension si la dimension axiale d'un secteur diminue, la dimension axiale d'un secteur de polarité opposée augmente.

Dans l'exemple des figures 1,3 et 4 les plaquettes sont disposées de
sortes que les deux plans médians sont perpendiculaires entre eux. C'est
20 à dire qu'un secteur d'une des plaquettes est en vis à vis à la foi d'un secteur ayant même polarité que lui et d'un secteur de polarité opposée sur l'autre plaquette. Les contre-masses 11,14 sont disposées de part et d'autre des plaquettes de sorte que le premier plan axial P1 est confondu avec le premier plan médian PM1 et le deuxième plan axial est confondu
25 avec le deuxième plan médian PM2.

La figure 5 illustre, en fonction de la fréquence F de la tension d'alimentation:

- les amplitudes A des déformations des plaquettes selon les deux modes de flexion;

- 8 -

- les amplitudes B des déformations, c'est à dire de l'onde progressive sur la face postérieure 111 de la première contre-masse 11, selon les deux modes de flexion; et,

- le déphasage D entre les deux modes de flexion des déformations sur la face postérieure de la première contre-masse 11.

On constate que pour le premier mode de flexion M1 la résonance est atteinte pour une fréquence F1 et que pour le deuxième mode de flexion M2 la résonance est atteinte pour une fréquence F2. Pour une fréquence médiane Fu telle que $Fu = (F1 + F2)/2$, le déphasage entre les deux modes de flexion est de 90°C. La fréquence médiane Fu est la fréquence d'utilisation pour un fonctionnement optimal du moteur 1.

Lorsque la tension d'alimentation varie les matériaux piézo-électriques constitutifs des plaquettes se déforment plus ou moins selon que le champ électrique créé par cette tension est plus ou moins intense, de sorte que le stator fléchi selon la ligne L.

La tension étant variable, le champ électrique varie en fonction de la tension. Ainsi, les déformations axiales des céramiques piézo-électriques constitutives de chaque secteur 123,124,133,134 suivent, selon leur polarité, les variations d'intensité du champ électrique axial auquel elles sont soumises. C'est ainsi que lorsque l'intensité du champ électrique augmente, l'épaisseur d'un secteur d'une plaquette tandis que l'épaisseur de l'autre secteur de la même plaquette diminue, et réciproquement lorsque l'intensité du champ électrique diminue. Lorsque l'intensité de la tension varie, donc des champs, varie les épaisseurs varient aussi progressivement excitant progressivement chacun des modes M1,M2 de flexion de sorte que chaque point de la ligne L décrit autour de l'axe X un parcours représenté sensiblement circulaire à la figure 1 par la flèche R.

Les figures 6 et 7 sont des représentations, respectivement similaires à celles des figures 3 et 4, d'un deuxième mode de réalisation possible pour un moteur selon l'invention, en particulier pour la disposition des éléments 11-14 du stator 10. Les éléments sont

identiques à ceux décrits en référence aux figures 3 et 4, seule leur disposition change.

Dans l'exemple de la figure 6, les plans médians PM1 et PM2 sont confondus, mais forment un angle de 180° entre eux, c'est à dire que les
5 plaquettes 12,13 sont disposées de sorte qu'un secteur d'une polarité sur une plaquette soit en vis à vis avec un secteur de polarité opposée sur l'autre plaquette. Les contre-masses 11,14 sont disposées de sorte que les plans axiaux P1,P2 sont confondus et forment un angle de 45° avec les plans médians PM1,PM2.

10 Pour un bon fonctionnement du moteur il faut s'assurer que la rotation du rotor 20 s'effectue sensiblement dans un plan perpendiculaire à l'axe X, c'est à dire que le rotor 20, bien que plaqué contre le stator 10 par un effort presseur du ressort 32, n'est pas entraîné en flexion par les mouvements du stator. Pour cela il faut que le rotor 20 ait une inertie
15 suffisante, et que l'effort presseur exercé est suffisant pour l'entraînement en rotation du rotor par la stator sans que cet effort soit trop important.

La figure 8 représente un deuxième type d'alimentation monophasée possible pour un moteur selon l'invention, adapté au moteur de la figure
20 3. Ce deuxième type permet de faire tourner le moteur à volonté selon un premier sens de rotation ou selon un second sens de rotation, opposé au premier. A la figure 8, la deuxième interface est reliée à la masse 42 et l'alimentation comprend un transformateur dont le primaire, alimenté par une phase unique 41, n'est pas représenté. Ce transformateur comprend
25 deux secondaires identiques dont un premier S1 est relié par une de ses deux bornes à la masse 42 et par l'autre à la première interface 1112 à laquelle elle permet d'appliquer une phase 411. Le deuxième secondaire S2 comprend deux bornes B1,B2 et il est commandé par un inverseur K. L'inverseur K comprend deux contacts de masse K11, K12 reliés à la
30 masse 42 et deux contacts de phase K21,K22 , reliés à la troisième interface 1314.

L'inverseur comprend deux positions. Dans sa première position, le premier contact de masse K11 est en contact avec la première borne B1 et le premier contact de phase K21 est en contact avec la deuxième borne B2 de sorte que le deuxième secondaire est alimenté de façon
5 identique au premier secondaire. Ainsi, une tension 411,412 identique est appliquée aux premières et troisièmes interfaces, permettant l'entraînement du moteur dans un premier sens de rotation.

Dans la seconde position de l'inverseur K, le deuxième contact de masse K12 est en contact avec la deuxième borne de B2 et le deuxième
10 contact de phase K22 est en contact avec la première borne B2 de sorte que le deuxième secondaire est alimenté de façon opposée au premier secondaire. Ainsi, une tension 412 de même amplitude mais de signe opposé à celle 411 appliquée à la première interface est appliquée à la troisième interface, permettant l'entraînement du moteur dans le second
15 sens de rotation.

Bien sûr, l'invention n'est pas limitée aux exemples qui viennent d'être décrits et de nombreux aménagements peuvent être apportés à ces exemples sans sortir du cadre de l'invention.

Ainsi, l'alimentation peut être inversée et la masse reliée à la
20 deuxième interface alors que la phase est reliée à la première et à la troisième interface.

La forme des éléments constitutifs du moteur n'est pas nécessairement cylindrique. Plutôt que de réaliser des alésages dans les contre-masses il est possible de donner différentes formes a ces contre-
25 masses. Ainsi, une contre-masse ayant la forme d'une poutre aura une fréquence de résonance différente selon que la flexion se fait selon une petite ou une grande arrête de la poutre. La dissymétrie peut également être réalisée par l'introduction d'une ou plusieurs singularités uniquement sur une des contre-masses ou sur une partie du stator. La dissymétrie
30 peut également être obtenue par l'utilisation de matériaux anisotropes,

- 11 -

l'anisotropie introduisant localement des singularités. Le nombre des plaquettes n'est pas non plus limité à deux.

Le stator peut en outre comprendre un amplificateur mécanique, formant entretoise entre l'ensemble et le rotor. Il sert alors à amplifier l'onde progressive et à entraîner le rotor en rotation. L'amplificateur peut aussi de forme généralement cylindrique, comprendre une face antérieure appliquée sur la face postérieure de la première contre-masse et une face postérieure en contact avec le stator. C'est l'onde progressive, amplifiée sur la surface postérieure de l'amplificateur, qui entraîne le rotor en rotation.

Au lieu d'introduire une dissymétrie de résonance à l'aide d'une dissymétrie géométrique dans le stator, par exemple les alésages dans les contre-masses, on peut aussi l'introduire à l'aide d'une dissymétrie géométrique dans la fixation du stator sur le bâti, c'est à dire par exemple de la fixation du stator sur l'arbre. Ainsi, en fixant le stator de manière dissymétrique, par exemple dans une direction radiale et pas dans une direction radiale perpendiculaire, on obtient des fréquences de résonance différentes selon la direction. Cette solution présente un intérêt particulièrement pour des moteurs selon l'invention de très petite dimension.

Bien entendu, le même principe de fonctionnement peut être obtenu avec d'autres types de matériaux électroactifs.

Des moteurs selon l'invention présentent des avantages économiques et de fiabilité, essentiellement pour des moteurs qui ne nécessitent qu'un seul sens de rotation. Ils sont particulièrement adaptés pour les moteurs de petite taille tels les moteurs d'horlogerie, de microchirurgie ou de microélectronique.

REVENDICATIONS

1. Moteur (1) piézo-électrique à rotation de mode comprenant un stator (10) fixé à un bâti (3) du moteur et apte à fléchir
5 perpendiculairement à une direction principale (D), ledit stator comprenant, empilées selon ladite direction principale, des éléments électroactifs (12,13) encadrées par deux contre-masses (11,14), caractérisé en ce que ledit stator (10) présente une dissymétrie géométrique (52) de façon à créer une dissymétrie de résonance.

10

2. Moteur selon la revendication 1, caractérisé en ce que les éléments électroactifs sont des céramiques piézo-électriques.

3. Moteur selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que la
15 dissymétrie géométrique est obtenue grâce à un mode de fixation dissymétrique du stator sur le bâti.

4. Moteur selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la dissymétrie géométrique est obtenue grâce à l'utilisation de
20 matériaux anisotropes pour le stator.

5. Moteur selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que la dissymétrie géométrique est obtenue grâce à une forme dissymétrique (52) du stator, particulièrement une forme dissymétrique
25 pour les contre-masses.

6. Moteur selon la revendication 5, caractérisé en ce que le stator comprend des céramiques piézo-électriques sous forme de plaquette, les plaquettes et les contre-masses étant de formes sensiblement
30 cylindriques et coaxiales avec un arbre (2) reliant le stator au bâti (3),

lesdites contre-masses comprenant de part et d'autre de l'arbre des évidements (52).

7. Moteur selon la revendication 5 ou 6, caractérisé en ce que le
5 stator comprend des contre-masses de forme sensiblement identiques entre elles, de sorte que pour deux plans axiaux respectifs (P1,P2) définis de sorte qu'un premier plan axial P1 pour une première contre-masse (11) représente sur la seconde contre-masse (12) un plan orthogonal au deuxième plan axial P2 pour ladite seconde contre-masse (12), les deux
10 plans axiaux (P1,P2) forment sur le stator un angle non nul entre eux.

8. Moteur selon l'une des revendications 5 à 7, caractérisé en ce que chaque plaquette (12,13) comprend autour d'un axe de rotation pour le rotor 20, des secteurs de matériau piézoélectrique (123,124,133,134)
15 de polarité axiale alternée (P+,P-), disposés de sorte que chacun des secteurs d'une première plaquette soit en vis à vis, au moins partiellement, d'un secteur de polarité opposée d'une autre plaquette.

9. Moteur selon la revendication 7 ou 8, caractérisé en ce que les
20 deux plan axiaux (P1,P2) forment un angle sensiblement égal à 90°.

10. Moteur selon la revendication 9, caractérisé en ce que le stator comprend des plaquettes de forme sensiblement identiques entre elles, de sorte que pour deux plans médians respectifs (PM1,PM2) définis de façon
25 identique pour chacune des plaquettes indépendamment, les deux plans médians forment un angle de 90° entre eux, et un premier (P1) parmi les plan axiaux (P1,P2) des contre-masses est coplanaire avec un premier (PM1) parmi les plans médians, et respectivement, un deuxième (P2) parmi les plan axiaux est coplanaire avec un deuxième (PM2) parmi les
30 plans médians.

- 14 -

11. Moteur selon la revendication 9, caractérisé en ce que le stator comprend des plaquettes de forme sensiblement identiques entre elles, de sorte que pour deux plans médians respectifs (PM1,PM2) définis de façon identique pour chacune des plaquettes indépendamment, les deux plans
5 forment un angle de 180° entre eux et les plans axiaux (P1,P2) forment un angle de 45° avec les plans médians.

12. Moteur selon l'une des revendications 6 à 11, caractérisé en ce qu'il comprend une alimentation électrique monophasée (40) qui
10 comprend une masse (42) et une phase (41), de sorte que la phase est reliée à une interface (1213) entre deux plaquettes et la masse est reliée à des faces (112,141) desdites plaquettes respectivement opposées à ladite interface (1213), ou de sorte que la masse est reliée à une interface (1213) entre deux plaquettes et la phase est reliée à des faces
15 (121,132) desdites plaquettes respectivement opposées à ladite interface (1213).

13. Moteur selon la revendication 10, caractérisé en ce qu'il comprend une alimentation électrique monophasée (40) qui comprend
20 une masse (42) relié à une interface (1213) de deux plaquettes (12,13) et une phase (41) alimentant un primaire d'un transformateur, ledit transformateur comprenant deux secondaires identiques (S1,S2) dont un premier (S1) est banché entre la terre et une face (121) d'une des plaquettes (12), opposée à l'interface (1213), pour y fournir une première
25 phase 411 et l'autre secondaire (S2) est banché par l'intermédiaire d'un inverseur (K) entre la terre et une face (132) de l'autre des plaquettes (13), opposée à l'interface (1213), pour y fournir une deuxième phase (412), égale ou opposée à la première phase (411) selon la position de l'inverseur.

- 15 -

14. Procédé pour alimenter un moteur (1) piézo-électrique à rotation de mode comprenant un stator (10) fixé à un bâti (3) du moteur et apte à fléchir perpendiculairement à une direction principale (D), ledit stator comprenant, empilées selon ladite direction principale, des céramiques piézo-électriques (12,13) encadrées par deux contre-masses (11,14), ledit stator (10) présentant une dissymétrie géométrique (52) de façon à créer une dissymétrie de résonance, caractérisé en ce qu'on utilise une alimentation monophasée (40).
15. Procédé la revendication 14, caractérisé en ce qu'on utilise pour l'alimentation (40), une fréquence d'utilisation (F_u) intermédiaire à deux fréquences de résonances (F_1, F_2) respectives de deux modes de flexion (M_1, M_2) caractéristiques de la dissymétrie de résonance.
16. Procédé la revendication 15, caractérisé en ce qu'on utilise une fréquence d'alimentation sera plus particulièrement choisie afin que le déphasage entre les deux modes de flexion soit de 90° .

FIG.1

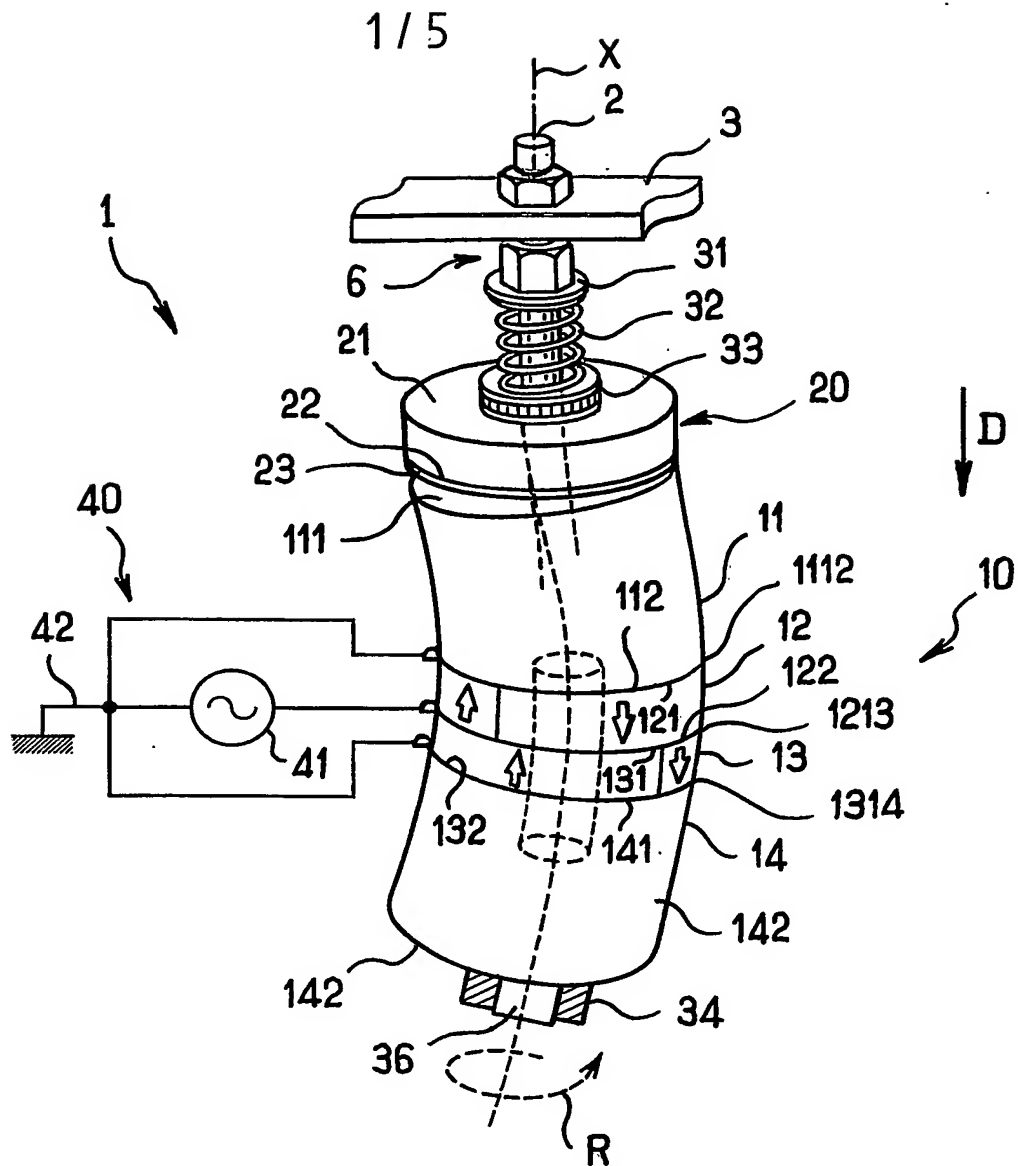


FIG.2

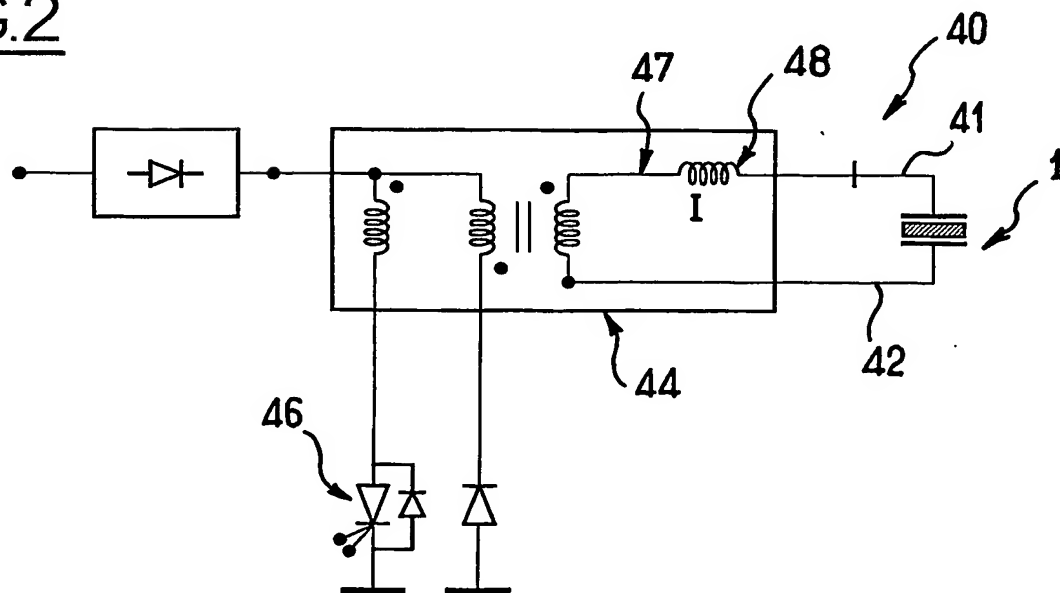


FIG.3

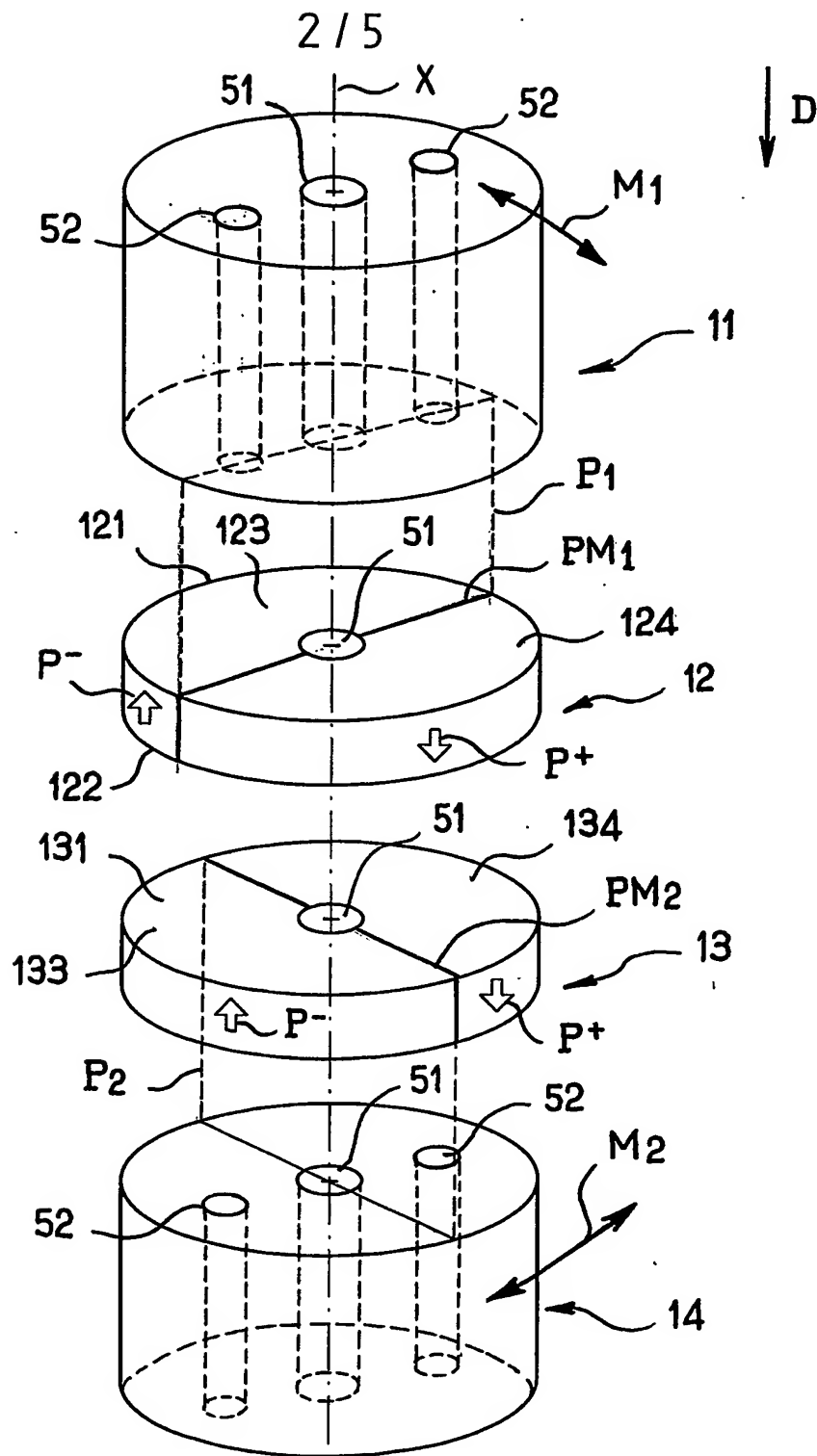
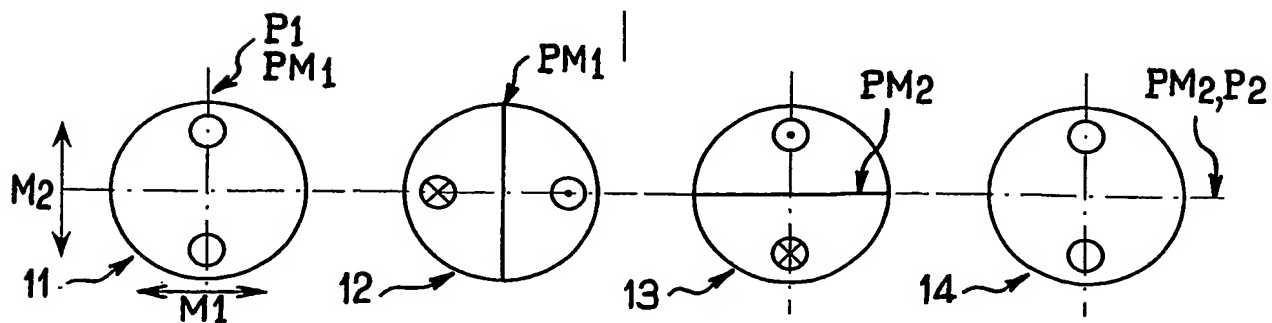


FIG.4



3 / 5

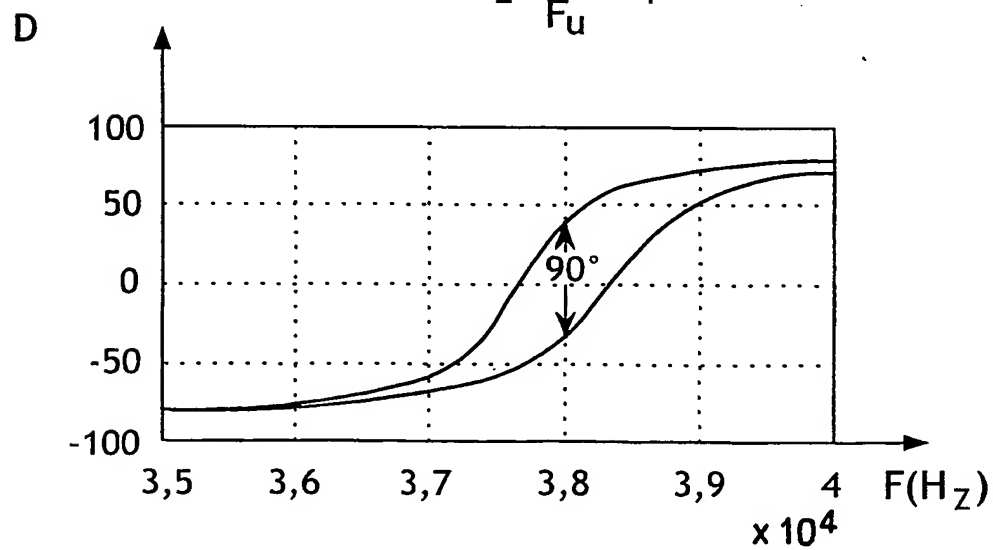
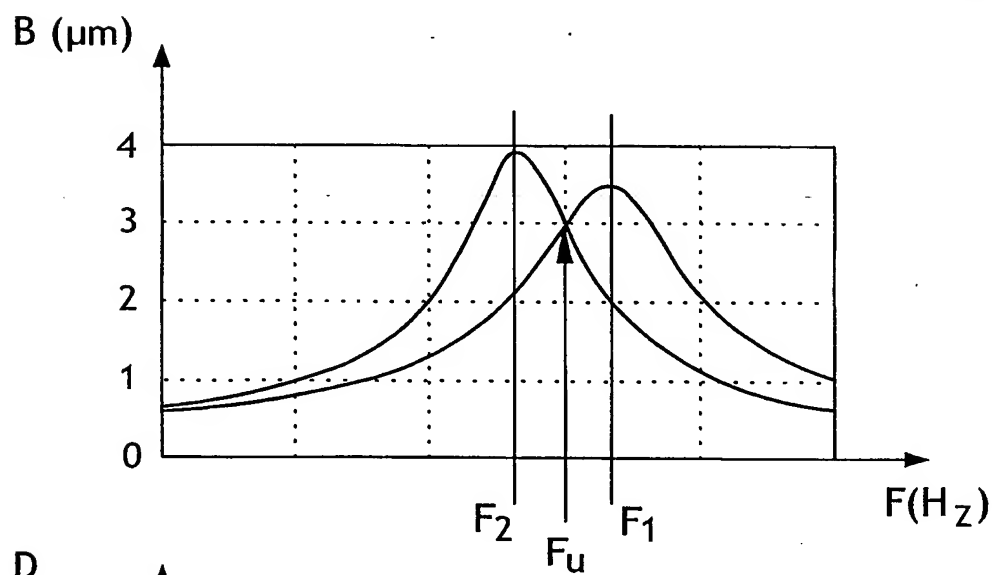
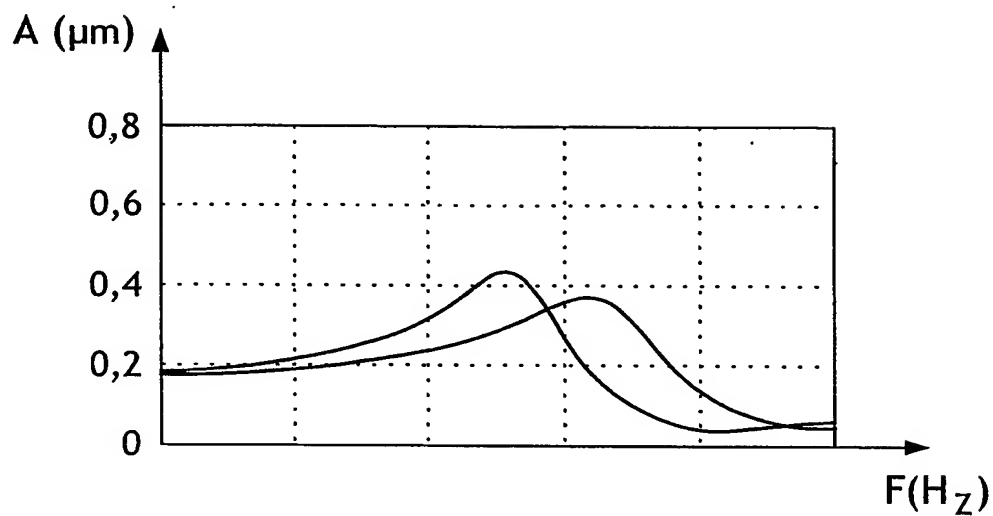
FIG.5

FIG.6

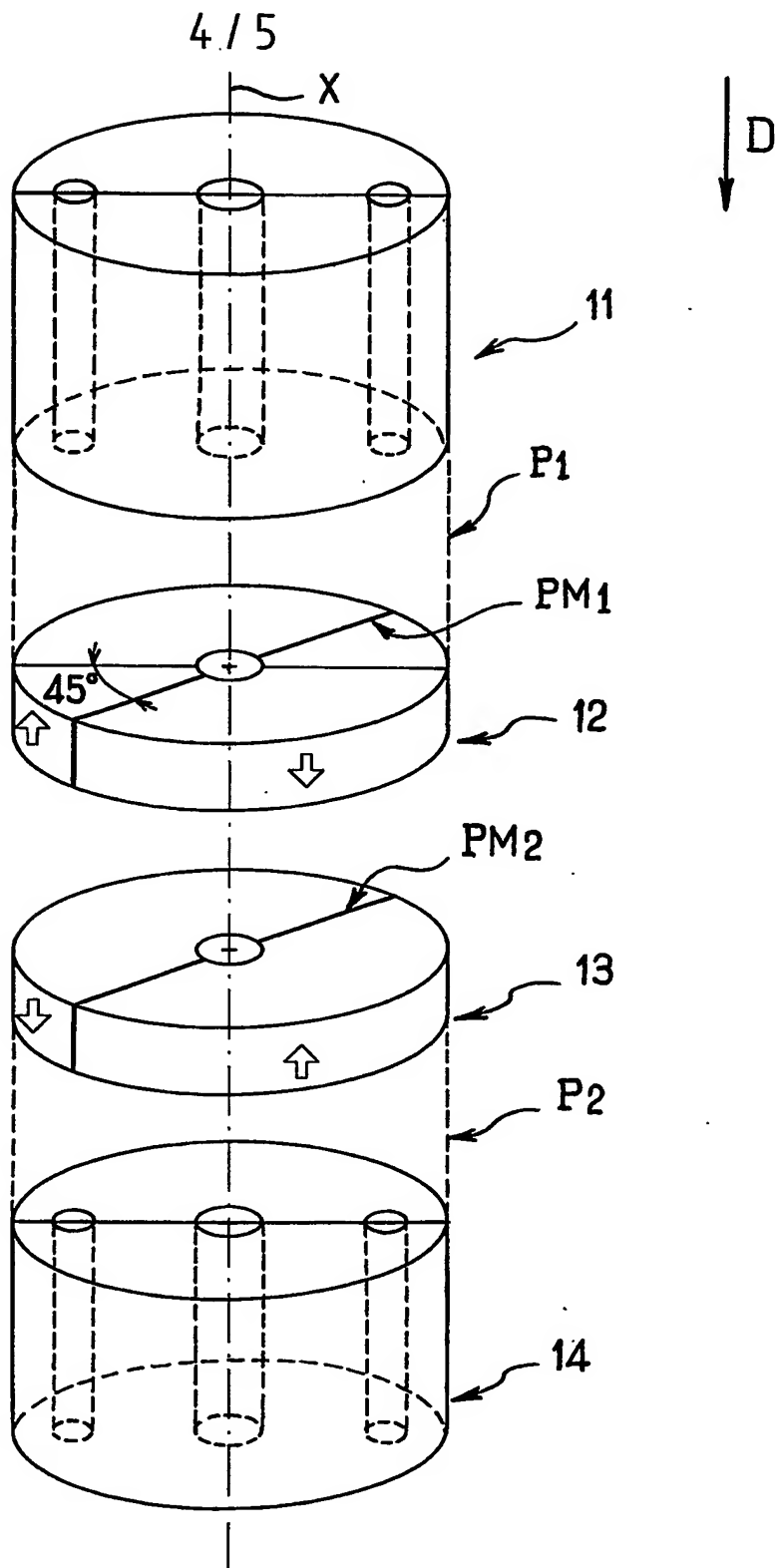
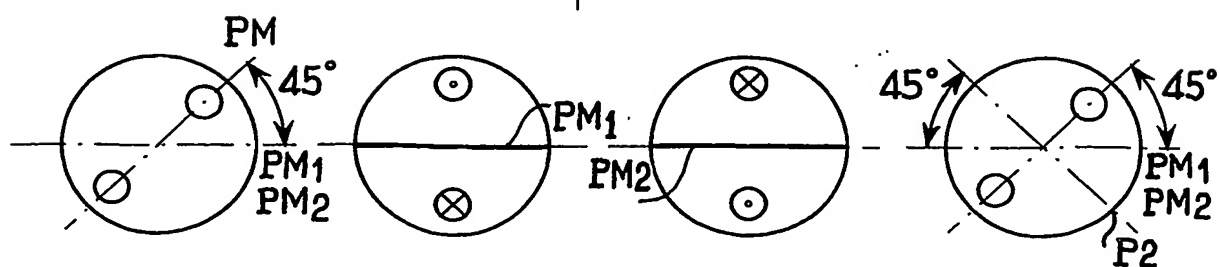


FIG.7



5 / 5

FIG.8